

Reporte de Investigación

Segundo Prototipo de un Visibilímetro para el Entorno del Automóvil

M. en C Raymundo Barrales Guadarrama
M. en C Melitón Ezequiel Rodríguez Rodríguez
Dr. Víctor Rogelio Barrales Guadarrama

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
Departamento de Electrónica
Grupo de Sensores y Señales

Dr. Antonio Mocholí Salcedo
M. en C. José Humberto Arroyo Núñez
Universidad Politécnica de Valencia
Departamento de Ingeniería Electrónica
Grupo de Sistemas de Control de Tráfico

Departamento de Electrónica
División de Ciencias Básicas Ingeniería
Unidad Azcapotzalco

JAM
TK7878.4
\$4.35

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA

Casa abierta al tiempo


Azcapotzalco

REPORTE DE INVESTIGACIÓN

SEGUNDO PROTOTIPO DE UN VISIBILÍMETRO

PARA EL ENTORNO DEL AUTOMÓVIL

#217664
C.B. 2893350

REPORTE DE INVESTIGACIÓN

SEGUNDO PROTOTIPO DE UN VISIBILÍMETRO PARA EL ENTORNO DEL AUTOMÓVIL



M. en C. Raymundo Barrales Guadarrama
M. en C. Melitón Ezequiel Rodríguez Rodríguez
Dr. Víctor Rogelio Barrales Guadarrama

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
Departamento de Electrónica
Grupo de Sensores y Señales

Dr. Antonio Mocholí Salcedo
M. en C. José Humberto Arroyo Núñez

Universidad Politécnica de Valencia
Departamento de Ingeniería Electrónica
Grupo de Sistemas de Control de Tráfico

2893350

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. Enrique Pablo Alfonso Fernández Fassnacht
RECTOR GENERAL

Mtra. Iris Edith Santacruz Fabila
SECRETARIA GENERAL

UNIDAD AZCAPOTZALCO

Mtra. Gabriela Paloma Ibáñez Villalobos
RECTORA

Ing. Darío Eduardo Guaycochea Guglielmi
SECRETARIO ACADEMICO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

Dr. Emilio Sordo Zabay
DIRECTOR

Dr. Gabriel Soto Cortés
SECRETARIO ACADÉMICO

Dr. Andrés Ferreyra Ramírez
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

C.P. Rosa Ma. Benítez Mendoza
JEFE DE LA OFICINA DE PRODUCCIÓN EDITORIAL Y DIFUSIÓN

Segundo Prototipo de un Visibilímetro para el Entorno del Automóvil.
Primera edición, 2011
D.R.© 2011 Universidad Autónoma Metropolitana

Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas
Del. Azcapotzalco, C. P. 02200, México, DF

Producción Editorial. Oficina de Producción Editorial y Difusión de la DCBI-A
Diseño gráfico D.C.G. Ana Lilia Fonseca Garduño

ISBN del libro: 978-607-477-450-4
Impreso en México/ Printed in Mexico

ÍNDICE

1. Antecedentes	9
2. Modificaciones al diseño del primer visibilímetro	11
2.1 Selección de un nuevo emisor lumínico	11
2.2 Modificaciones al diseño del circuito del emisor	11
2.3 Modificaciones al diseño del circuito del receptor	13
2.3.1 Mejora del circuito tanque	13
2.3.2 Amplificador de señal	14
2.3.3 Reemplazo del circuito detector de pico	13
3. Obtención del rango dinámico del instrumento	15
3.1 Primera discusión	15
3.2 Procedimiento para la obtención del rango dinámico	15
3.3 Ajuste del amplificador	18
4. Modificación del circuito del escalador	19
5. Característica del visibilímetro	21
6. Estimación teórica de la visibilidad	23
7. Segunda discusión	25
8. Conclusiones	27
9. Referencias	29
10. Anexos	31
Anexo A	31
Anexo B	32
Anexo C	33

1. ANTECEDENTES

En [1], se ha propuesto el diseño, construcción y prueba preliminar de un visibilímetro de bajo costo, para aplicación en la prevención de accidentes en carreteras debidos a la presencia de niebla.

Se ha llevado a cabo un estudio preliminar de la detección de la pérdida de visibilidad debida a la presencia de un aerosol semejante a la niebla cuyos resultados se han documentado en la memoria antes citada. Básicamente, el sensor de visibilidad propuesto aplica técnicas optoelectrónicas. Para estimar la visibilidad, se utiliza un fotodetector que mide los cambios en la intensidad lumínica retrodispersada provocados por la presencia de niebla. El estudio preliminar ha propuesto:

a) El uso de la técnica de la retrodispersión ("backscattering") para la detección de la pérdida de la visibilidad y un diseño de bajo costo para lograr la medición propuesta.

b) El uso de un modelo matemático propuesto en la literatura especializada (cf. [1]) que relaciona directamente la visibilidad con la irradiancia retrodispersada que es recibida por un fotodetector.

c) La búsqueda de los límites del rango dinámico del sensor de visibilidad correspondientes a la gama de niveles de gris que se utilizaron como

primera aproximación para investigar el comportamiento del sensor frente a condiciones de disminución de la visibilidad.

d) Una escala subjetiva que indica qué "nivel" de visibilidad se está detectando.

e) El contraste contra un instrumento patrón, como trabajo futuro, para la validación del modelo investigado y su correcta implementación mediante el sensor propuesto.

Nuevas consideraciones surgidas durante el diseño, la documentación y la experimentación con el primer prototipo, han exigido modificaciones a la solución material previamente propuesta y han suscitado reflexiones sobre la técnica de detección empleada.

El presente documento es un suplemento a la referencia [1] que reporta las modificaciones al diseño del primer prototipo y plantea una nueva dirección relacionada con la metodología para la validación del modelo de Barteneva [1, p. 13], adoptado previamente para la estimación de la visibilidad, dejando el trabajo aún como un estudio preliminar.



2893350

2. MODIFICACIONES AL DISEÑO DEL PRIMER VISIBILÍMETRO

El prototipo del sensor de visibilidad hace uso de un diodo láser infrarrojo modelo DL-8141-035 de la casa SANYO [1, ref. 18] con una longitud de onda de 808 nm y una potencia típica de salida de 150 mW. Sin embargo, la documentación reporta fuentes de luz menos sofisticadas que no requieren de circuitos especiales para su manejo.

2.1 Selección de un nuevo emisor lumínico

Fuentes lumínicas diferentes a las fuentes láser se han reportado en la literatura como fuentes de luz para su uso con transmisímetros o medidores de visibilidad desde hace más de 30 años. Los ejemplos encontrados son:

a) El instrumento PVM ("Point Visibility Meter") [2] utilizaba un LED de GaAs modelo GAL3 de la casa Plessey como fuente de luz. Este dispositivo emitía 10 mW a corrientes instantáneas de 1 A. El PVM era un instrumento compacto que se utilizaba para medir el coeficiente de extinción mediante la técnica de la dispersión directa llegando a medir un valor máximo de 60 km-1.

b) El proyecto LIDEX [3], en los años 80s del siglo pasado, diseñó un instrumento para medir la función de dispersión volumétrica (VCF—Volume Scattering Function) de las aguas oceánicas mediante la técnica de la retrodispersión y utilizaba un LED infrarrojo con un ancho de banda centrado en los 880 nm. Por la misma época, el Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Johns Hopkins diseñó un instrumento para el mismo propósito utilizando una lámpara incandescente con filtros espectrales centrados en 490 y 532 nm, es decir, en el espectro visible.

c) El sensor de visibilidad MIRA de la casa AANDERAA [4] es un instrumento de tecnología reciente que utiliza un LED infrarrojo centrado en 880 nm para medir un valor máximo de la visibili-

dad de 3 km, como se requiere en las aplicaciones de tráfico terrestre.

Puesto que se han comprobado buenos resultados con LEDs infrarrojos como fuentes lumínicas en sensores de visibilidad, se consideró pertinente su reemplazo por las siguientes razones:

a) El costo de un LED infrarrojo es mucho menor que el de un diodo láser. El láser del primer prototipo tiene un costo de 65 €, mientras que el costo de un LED infrarrojo es menor a 1€.

b) Un diodo láser requiere un controlador complicado que incorpore regulación de la corriente o de la potencia, protección contra corrientes inversas fuertes, un "snubber" para suavizar el encendido, compatibilidad con ESD y disipación de calor. Un LED infrarrojo es más fácil de manejar.

El LED infrarrojo de reemplazo seleccionado tiene las siguientes características:

Tabla 2-1 características del LED de reemplazo

Característica	Valor o descripción
Modelo	SFH4503
Marca	OSRAM
Longitud de onda	950 nm
Intensidad radiante típica	250 mW/sr

Estas características aseguran una retrodispersión de buena eficiencia y una respuesta del diodo PIN casi del 100%.

2.2 Modificaciones al diseño del circuito del emisor

La oportunidad de reemplazar el emisor ha permitido también reemplazar su circuito de control. Por un lado, se quiso reforzar el nivel de salida de la puerta NAND Schmitt que en el prototipo

alcanzaba una amplitud de 3.8 V. Simplemente se añadió una compuerta en cascada. La Fig. 2-1 muestra tanto la modificación al circuito como el oscilograma real de la salida del oscilador modificado, en el cual se aprecia que el nuevo nivel alto es de 4.57 V. La frecuencia se ha conservado en 37.5 kHz con un ciclo de trabajo del 60%.

Por otra parte, el receptor del primer prototipo [1, Fig. 6-3] utilizaba una fuente de corriente poco robusta pues dependía del voltaje V_{BE} de un BJT para tratar de mantener constante la corriente a través del diodo láser. Esta deficiencia se subsanó reemplazando el BJT por una fuente de corriente en base a un amplificador operacional. El LM358 probó ser la elección correcta para evitar de añadir una fuente de negativa. La Fig. 2-2 muestra la nueva solución material para el emisor.

El nivel alto del oscilador se refleja, por propiedades del amplificador operacional, en la $R3$ de la Fig. 2-2 con un valor teórico constante de 5 V. Entonces, la corriente a través de la resistencia $R3$ y, por lo tanto, a través del LED infrarrojo, será constante. La corriente se fijó según el cálculo siguiente:

$$I_L = \frac{V_{OSC}}{R3}$$

Donde:

- I_L corriente a través de $R3$ (y del LED infrarrojo).
- V_{OSC} nivel alto del voltaje a la salida del oscilador (5 V).
- $R3$ resistencia de la fuente de corriente.

El valor de $R3$ se tuvo que ajustar mediante la técnica de prueba y error en la simulación del circuito para obtener una corriente de 100 mA a través del LED infrarrojo, el cual es un valor que permite una intensidad de radiación alta estimada en 60 mW/sr según la hoja de datos del fabricante (ver Apéndice A). La razón es que $R3$ no sólo fija la corriente a través del LED infrarrojo sino que define el punto de operación del MOSFET. En la Fig. 2-3 se muestra la variación de la corriente a través del LED infrarrojo según la simulación ORCAD.

La Fig. 2-4 muestra el oscilograma real de la salida del oscilador ya conectada al amplificador

operacional, donde se aprecia una amplitud de 4.39V, y el oscilograma del voltaje en $R3$ con respecto a tierra con una amplitud máxima de 985 mV. El valor real de $R3$ es de 13.6 Ω . Por Ley de Ohm

$$I_{L_REAL} = \frac{0.985}{13.6} \approx 72.43 \text{ mA}$$

Esto es lo mejor que se pudo hacer para acercarse a la especificación de 100 mA.

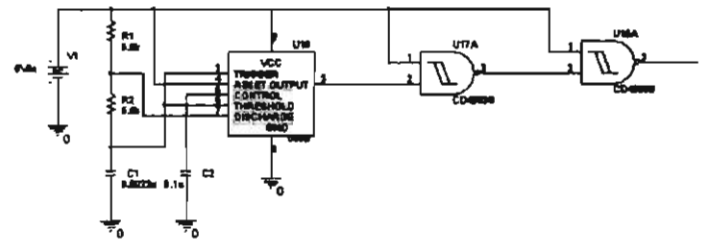


Fig. 2-1 a) Esquema del oscilador con la compuerta de refuerzo



Fig. 2-1 b) Oscilograma de la salida del oscilador

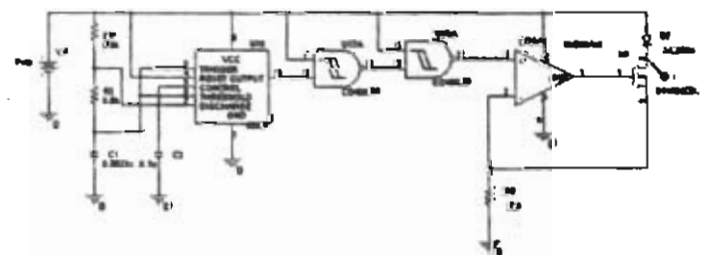


Fig. 2-2. Esquema completo del circuito del emisor.

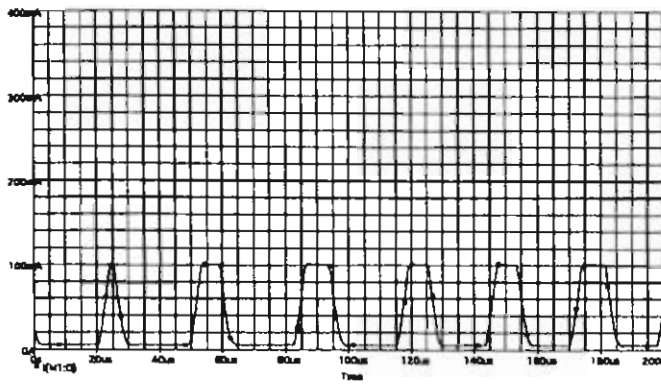
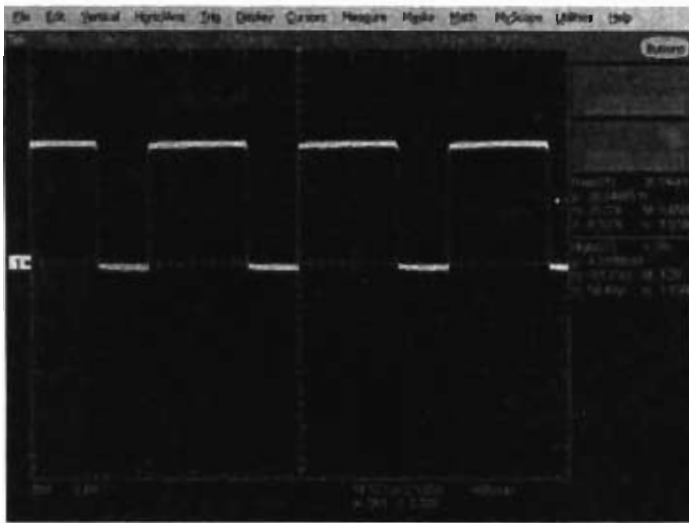
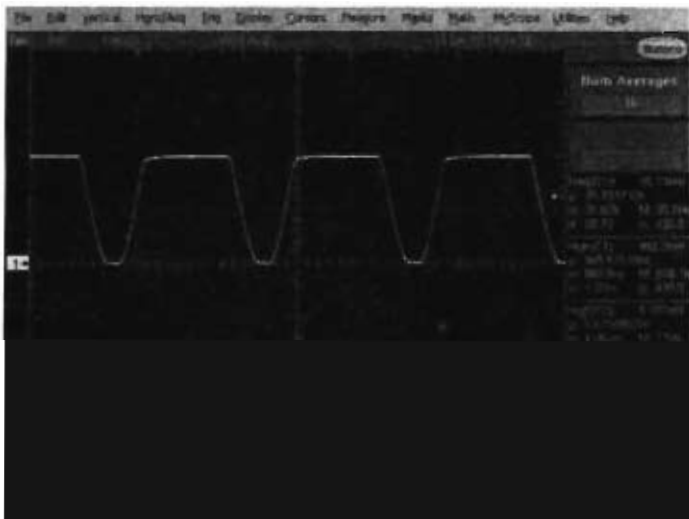


Fig. 2-3. Oscilograma de la corriente a través del LED infrarrojo, según la simulación ORCAD.



a)

2-4. a) Oscilograma de la salida del oscilador con carga



b)

2-4. b) Oscilograma del voltaje en R3.

2.3 Modificaciones al diseño del circuito del receptor

Durante la experimentación con el prototipo, se notó que el detector de pico no respondía rápidamente ante cambios bruscos de la señal del circuito tanque y perdía exactitud para menores a 1 V. Este fue el principal problema que presentó el acondicionador analógico del primer prototipo, aunque se realizaron los cambios pertinentes.

2.3.1 MEJORA DEL CIRCUITO TANQUE

Para evitar pérdidas de la corriente de señal generadas por el diodo PIN, se reemplazó el amplificador operacional del circuito tanque. Se seleccionó el amplificador AD8675 de la casa Analog Devices que es un amplificador operacional de precisión con una corriente de polarización de su etapa de entrada de 2nA. Otras características muy convenientes para esta aplicación (muy bajo ruido, muy bajo voltaje de desequilibrio) se pueden consultar en [5].

2.3.2 AMPLIFICADOR DE SEÑAL

Este amplificador permaneció igual que en el prototipo. Una mejora habría sido utilizar otro AD8675, pero desgraciadamente sólo se contaba con una muestra de este amplificador en el laboratorio.

2.3.3 REEMPLAZO DEL CIRCUITO DETECTOR DE PICO

El problema con el detector de pico se resolvió implementando un detector de pico rápido que utiliza un amplificador operacional LT1190 [6] especialmente diseñado para este tipo de aplicaciones (rapidez de respuesta = 450 V/µs) y un diodo Schottky de recuperación rápida. La Fig. 2-5 muestra la solución adoptada.

Como se esperaba, su respuesta es rápida para cambios bruscos de su entrada. La Fig. 2-6 muestra el diagrama completo del acondicionador analógico de la señal del receptor. Es pertinente mencionar aquí que los límites del rango dinámico a la salida del circuito tanque se obtuvieron mediante el procedimiento explicado en la Secc. 3.2. Estos límites determinarán el valor de la resistencia R6 del amplificador mostrado en la Fig. 2-6. Este valor se reporta en la Secc. 3.3.

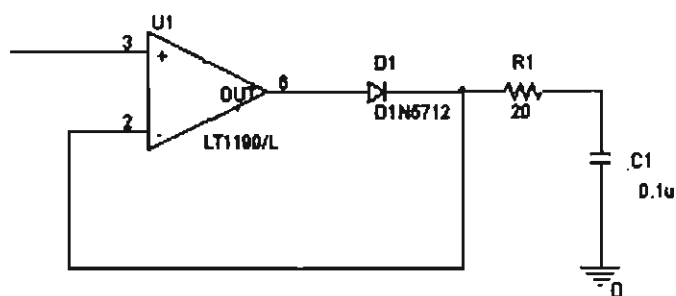


Fig. 2-5. Esquema del detector de pico rápido.

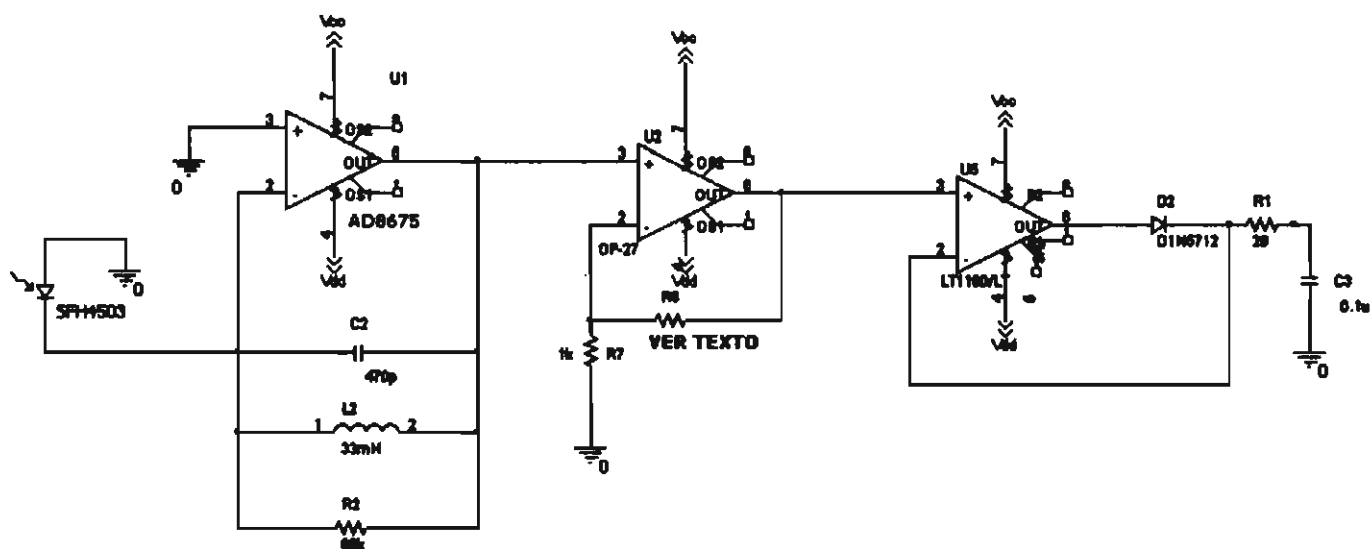


Fig. 2-6. Esquema del acondicionador analógico completo de la señal del receptor.

3. OBTENCIÓN DEL RANGO DINÁMICO DEL INSTRUMENTO

La condición ideal para obtener el rango dinámico del sensor será aquella donde el sensor pueda ser probado bajo condiciones de niebla natural. En [1] se explicó que el rango del prototipo se obtuvo por medio de pantallas de papel que variaban su tono de gris. Se estableció que de ninguna manera estas pantallas podrían representar un aerosol parecido a la niebla.

Una manera algo más realista de encontrar el rango dinámico del instrumento la ha ofrecido el uso de una máquina de humo que expelle al exterior un gas parecido a la niebla. Las máquinas comerciales de hacer humo utilizan un líquido compuesto de glicol, glicerina y/o aceite mineral con diferentes proporciones de agua destilada. La mezcla se calienta y es forzada a la atmósfera bajo presión para formar una especie de humo o neblina. Existe una variedad de mezclas [7]. Nosotros utilizamos una máquina de hacer humo modelo VDL800SMT de la casa Velleman con una salida de 100 m³/min, una capacidad en el tanque de 0.75 l y una potencia de 800 W. El líquido utilizado es la mezcla estándar VDSL5, aunque el fabricante no especifica la mezcla. La Fig. 3-1 muestra una foto del dispositivo.

3.1 Primera discusión

Las pruebas preliminares con la máquina de humo han permitido comprobar que el fenómeno de retrodispersión se presenta incluso para cantidades muy pequeñas de humo. Si bien las partículas del humo producido por esta máquina probablemente no sean exactamente iguales en tamaño a las de la niebla natural, se tiene una variación apreciable de la intensidad de retrodispersión

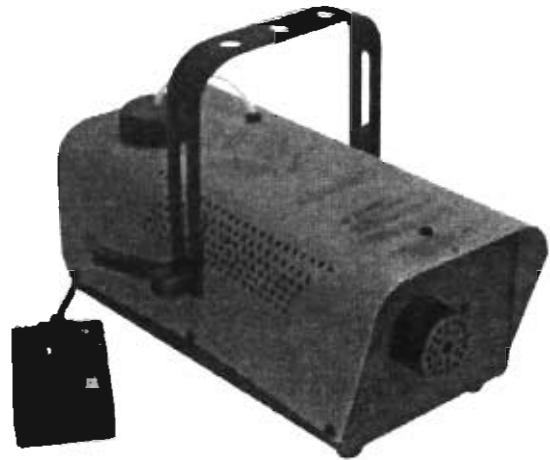


Fig. 3-1. Fotografía de la máquina de hacer humo modelo VDL800SMT. Tomado y adaptado de [8].

(“backscattering”). Este dispositivo permitiría entonces reproducir, bajo las condiciones de nuestro laboratorio, una condición de niebla aproximada. Se estimaría entonces que el rango dinámico del sensor estaría determinado entre unos límites posiblemente más realistas.

3.2 Procedimiento para la obtención del rango dinámico

La Fig. 3-2 muestra un esquema de la maqueta utilizada para explorar el rango dinámico del visibilímetro. En esta figura, se aprecia que en la cámara del proceso se introduce el humo de la máquina (cuando ésta está preparada para producir humo). Un ventilador permite desalojar el humo cuando es necesario. El ventilador debe estar apagado y cubierto mientras se acumula la niebla. El visibilímetro se acopla a la cámara, de manera que el haz infrarrojo únicamente se dirija

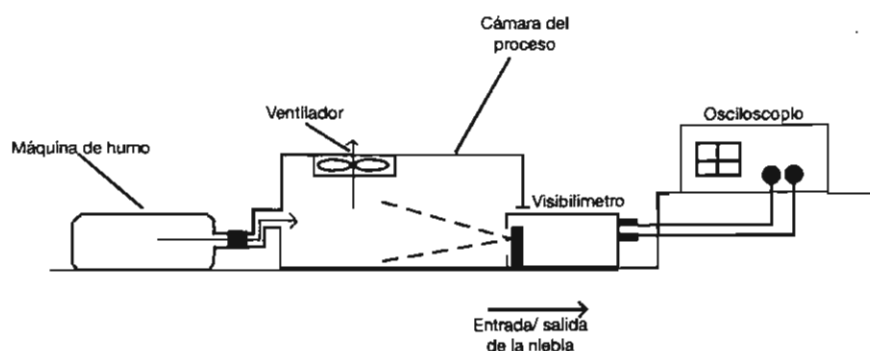


Fig. 3-2. Esquema de la maqueta para explorar el rango dinámico del sensor de niebla

al espacio interior de la cámara llena de humo. El osciloscopio registra el voltaje de salida del sensor.

El procedimiento para la exploración del rango dinámico es el siguiente:

1° Se hace llegar el humo a la cámara del proceso. Las paredes interiores de la cámara deben estar cubiertas de una capa de material o pintura que absorba la radiación infrarroja y, de esta manera, asegurar que el receptor del sensor sólo reciba la retrodispersión debida a las partículas del humo.

2° Se deja acumular el humo dentro de la cámara hasta obtener, a la salida del sensor, es decir, la salida del circuito tanque, la máxima amplitud de la señal sinusoidal producida por el circuito. Se registra este valor con ayuda del osciloscopio. Este será el límite superior del rango dinámico.

3° Se apaga la máquina de humo y se enciende el ventilador para iniciar el desalojo de la niebla desde el interior de la cámara. La salida del sensor se registrará en el osciloscopio como una forma de onda sinusoidal que disminuye poco a poco su amplitud.

4° Cuando el humo se haya desalojado completamente, se registra el valor de la salida del sensor. Este será el límite inferior del rango dinámico del sensor.

Siguiendo este procedimiento, se obtuvo el siguiente intervalo como rango dinámico:

$$[300\mu V \text{ a } \approx 17mV]$$

La Fig. 3-3 muestra los registros¹ de campo obtenidos

La Fig. 3-4 es una foto de la maqueta construida en el laboratorio.

3.3 Ajuste del amplificador

La variación de la señal del sensor, es decir, la salida del circuito tanque, es del orden de milivolts. Por lo tanto, es necesario amplificar esta variación para hacerla manejable para el acondicionador digital. La salida del circuito tanque debe ser suficientemente amplificada para que el detector de pico la pueda procesar, pero esta ganancia no debe ser tal que aumente el ruido, en ausencia de niebla, y que se muestra en la Fig. 3-3 a). El valor de esta ganancia se tuvo que ajustar por prueba y error. La Fig. 3-5 muestra tanto la salida del amplificador como el voltaje pico detectado para los límites del rango dinámico del sensor.

De los registros mostrados en la Fig. 3-5, se observa que el rango amplificado de la salida del instrumento es:

$$[\approx 5mV \text{ a } 51mV]$$

Por lo tanto, la ganancia del amplificador no inversor (Fig. 2-6) es:

$$A_v \approx 3$$

¹ Registros realizados con un osciloscopio modelo TDS5052B, marca Tektronix.



a)



b)

Fig. 3-3. Oscilogramas de la salida del circuito tanque: a) cuando no hay niebla en la cámara; b) máximo valor alcanzado por la salida cuando la cámara está llena de niebla.

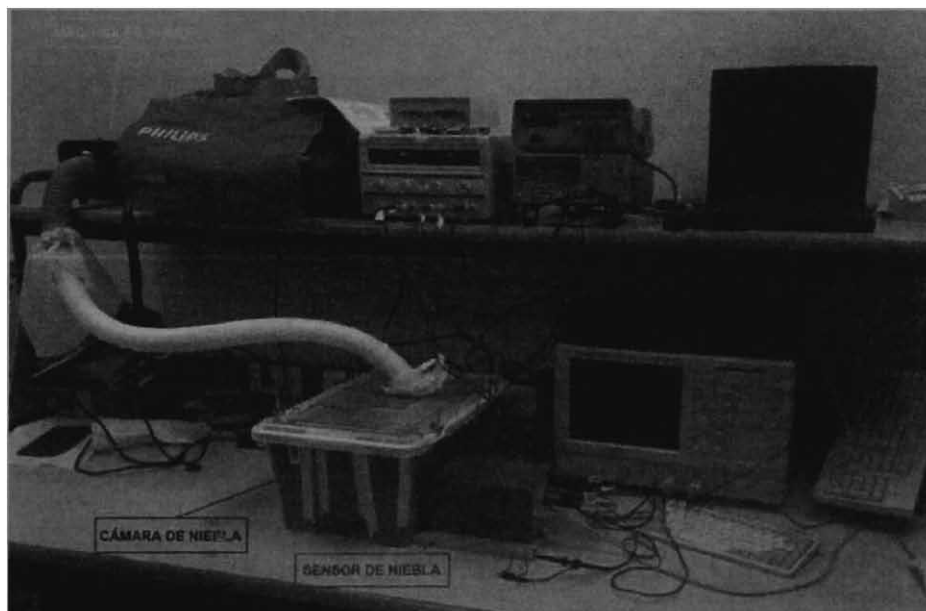
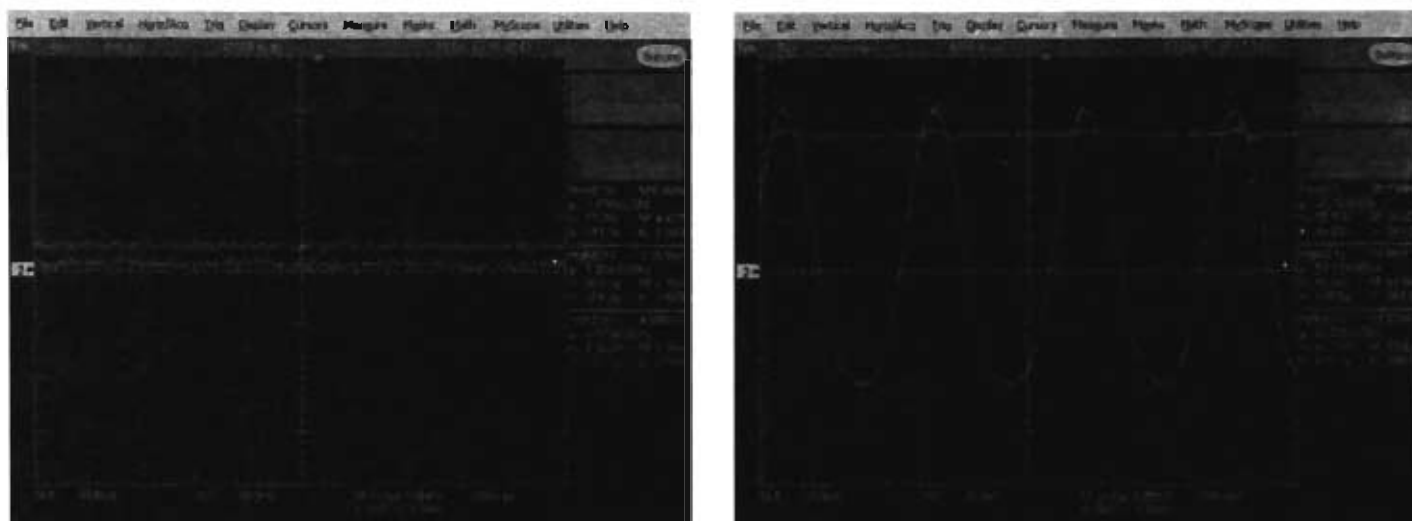


Fig. 3-4. Fotografía de la maqueta para el visibilímetro.



a)

b)

Fig. 3-5. Oscilogramas de la salida del amplificador y del detector de pico: a) cuando no hay niebla en la cámara; b) máximo valor amplificado y detectado cuando la cámara está llena de niebla.

4. MODIFICACIÓN DEL CIRCUITO DEL ESCALADOR

El circuito escalador, para los nuevos rangos de la señal, tiene la responsabilidad de realizar la transferencia lineal mostrada en la Fig. 4-1.

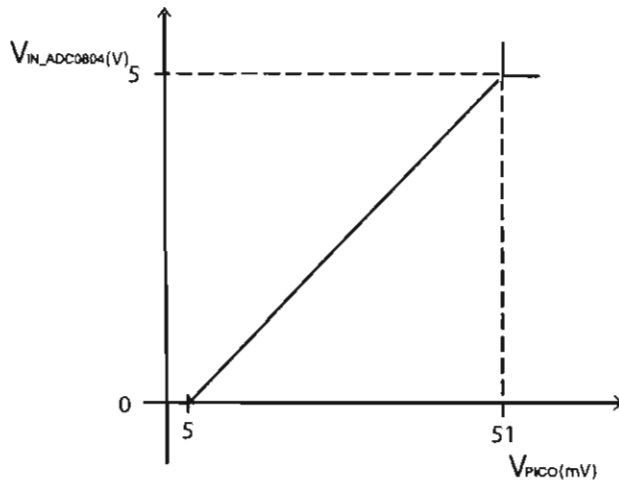


Fig. 4-1. Gráfica de la transferencia lineal del circuito escalador.

La ecuación de la gráfica de la Fig. 4-1 es:

$$V_{IN_ADC0804} = 108.7 V_{PICO} - 0.544 \quad (4-1)$$

La cual puede llegar a expresarse como:

$$V_{IN_ADC0804} \approx -108.7(5 \times 10^{-3} - V_{PICO}) \quad (4-2)$$

En la Ec. 4-2, se puede observar que la diferencia con el valor de V_{PICO} es muy pequeña y difícil de implementar en la práctica. Este valor es despreciable y eso conduce a implementar el circuito escalador con un simple amplificador no inversor de ganancia 108.7. La ganancia se ajusta con un potenciómetro².

El diseño se muestra en la Fig. 4-2

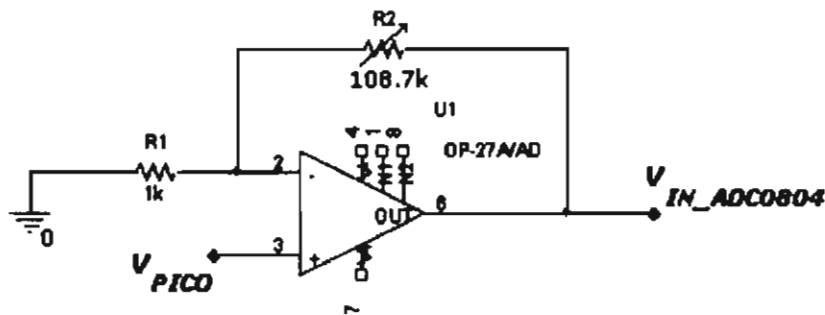


Fig. 4-2. Circuito del escalador.

² La ganancia. en la práctica, se ajustó manualmente hasta conseguir un rango aproximado de 100 mV a 5 V para el convertidor analógico/digital.

5. CARACTERÍSTICA DEL VISIBILÍMETRO

La característica del visibilímetro, donde el LED láser ha sido reemplazado por un LED IR, se obtiene con el método descrito en [1, Secc. 7.1], sólo que, esta vez, la variación de la señal se logra controlando la salida de niebla con el ventilador colocado en la parte superior de la cámara de niebla (Fig. 3-4). La Tabla 5-1 muestra el registro de los valores de I_{ra} , la corriente en el diodo PIN y de v_{PICO} , el voltaje a la salida del detector de pico. El primer par de valores corresponde a la cámara llena de niebla; el último par de valores corresponde a la cámara sin niebla.

Tabla 5-1 Registro de la corriente en el diodo PIN y el voltaje de salida del detector de pico

Corriente I_{ra} medida (μA)	Voltaje v_{PICO} medido (mV)
2.04	59.9 ³
1.7	44.0
1.6	37.0
1.5	33.0
1.4	29.3
1.3	21.0
1.2	18.0
1.15	15.9
1.10	14.0
1.07	11.75

La curva de la función $v_{PICO} = f(I_{ra})$ se muestra en la Fig. 5-1.

El paquete EXCEL permite determinar la ecuación de la función de transferencia del sensor:

$$v_{PICO} = 51247 I_{ra} - 0.0435 \text{ V} \quad (5-1)$$

Con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.995$ lo que indica que el ajuste lineal es confiable.

La característica del sensor se deduce de la misma manera que en [1]. Se trata de relacionar la curva de la característica del diodo PIN [1, Fig. 7-1] con la curva de la Fig. 5-1 de manera a obtener la gráfica de la función $v_{PICO} = f(E_{123})$. E_{123} es la irradiancia en W/m^2 recibida por retrodispersión ($\theta = 123^\circ$) en el diodo PIN. La ecuación de la característica del diodo PIN es:

$$I_{ra} \approx 49.95 \left[\frac{mA}{W/cm^2} \right] E_e \quad (5-2)$$

Substituyendo la Ec. (5-2) en la Ec. (5-1), tenemos:

$$v_{PICO} = 255.98 \times 10^{-3} E_{123} - 0.0435 \text{ V} \quad (5-3)$$

Esta última ecuación coincide con el ajuste por mínimos cuadrados entre los datos de entrada, es decir, los valores de la irradiancia E_{123} despejados de la Ec. 5-2, y los datos de salida, es decir, los valores del voltaje pico v_{PICO} . El resultado se muestra en la Fig. 5-2. En este ajuste, se observa un factor de determinación $R^2 = 0.995$.

³ Este valor se presentaba en varias ocasiones durante las pruebas y se tomó finalmente como el límite superior del rango dinámico.

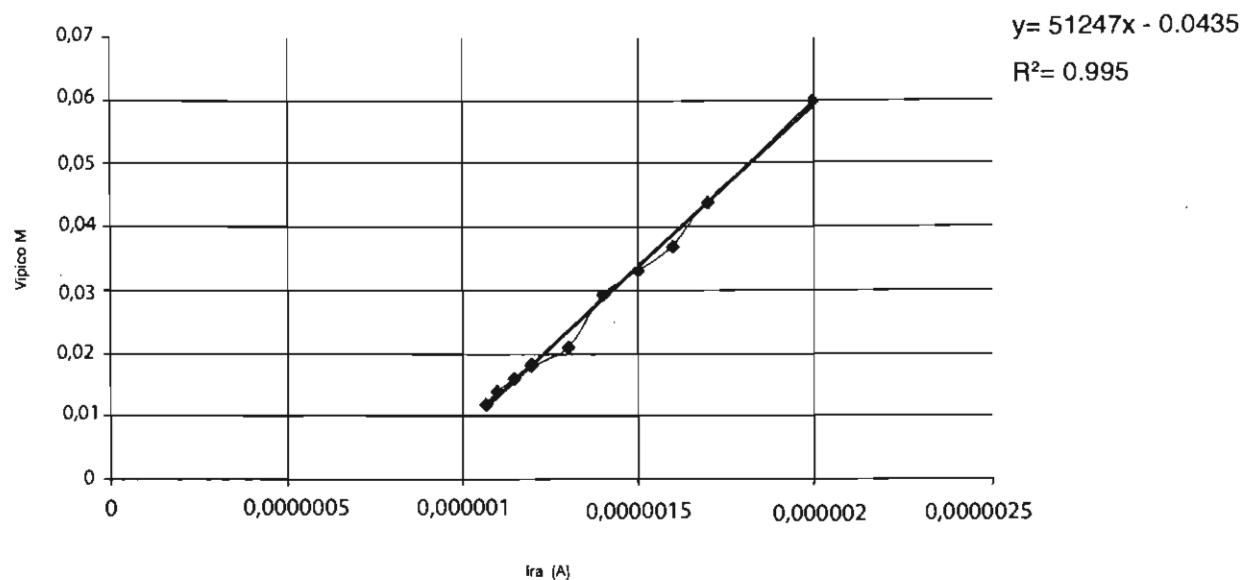


Fig. 5-1. Curva de la función $v_{pico} = f(I_{ra})$ del visibilímetro

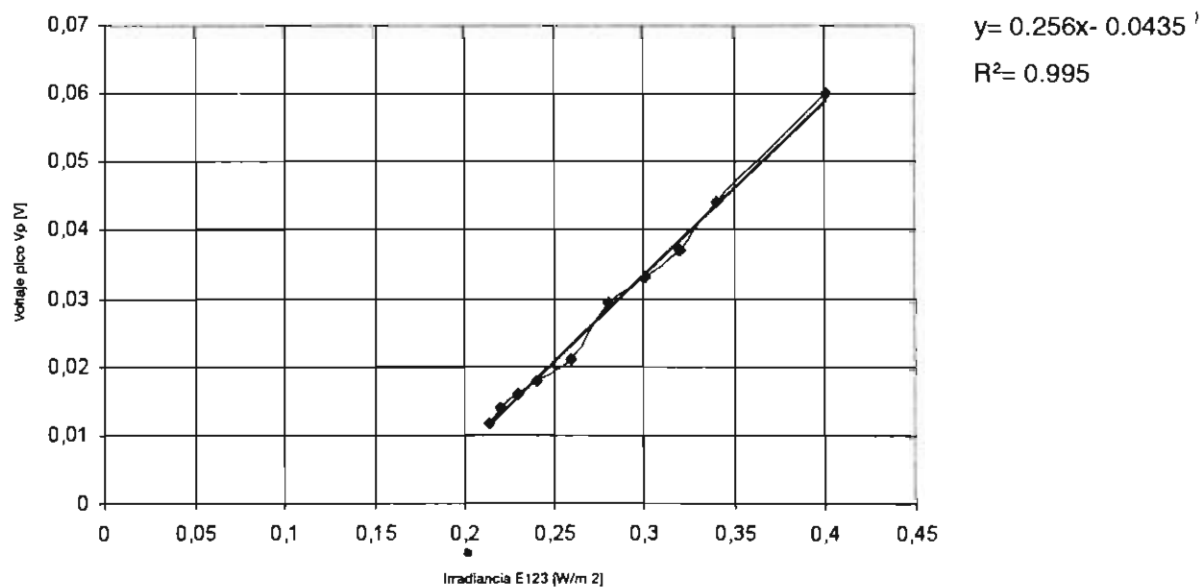


Fig. 5-2. Gráfica de la característica del visibilímetro (utilizando un LED IR como emisor).

6. ESTIMACIÓN TEÓRICA DE LA VISIBILIDAD

Para obtener la gráfica de la estimación de la visibilidad, de acuerdo al modelo de Barteneva que se utilizó en el prototipo del sensor con el LED laser [1], es necesario medir nuevamente la irradiancia del emisor E_0 . En este caso, su valor⁴ es:

$$E_0 = 14.52 \left[\frac{mW}{cm^2} \right] = 145.2 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (6-1)$$

Recordemos que la visibilidad está dada por el modelo de la Ec. 7-5 en [1], la cual se reproduce abajo:

$$ROM = 0.0307 \left[m \right] \left(\frac{E_{123} \left[W/m^2 \right]}{E_0 \left[W/m^2 \right]} \right)^{-1.43} \quad (6-2)$$

Substituyendo el valor de E_0 , de la Ec. 6-1, en la Ec. 6-2 tenemos:

$$ROM = 0.0307 \left(\frac{E_{123}}{145.2} \right)^{-1.43} = 37.91 E_{123}^{-1.43} \quad m \quad (6-3)$$

Ahora, despejamos el valor de la irradiancia E_{123} de la Ec. 6-3 y lo sustituimos en la Ec. 5-3 y nos queda:

$$ROM = 37.91 \left(\frac{V_{PICO} + 0.0435}{255.98 \times 10^{-3}} \right)^{-1.43} \quad m \quad (6-4)$$

Finalmente, la Fig. 6-1 muestra la gráfica de la estimación de la visibilidad.

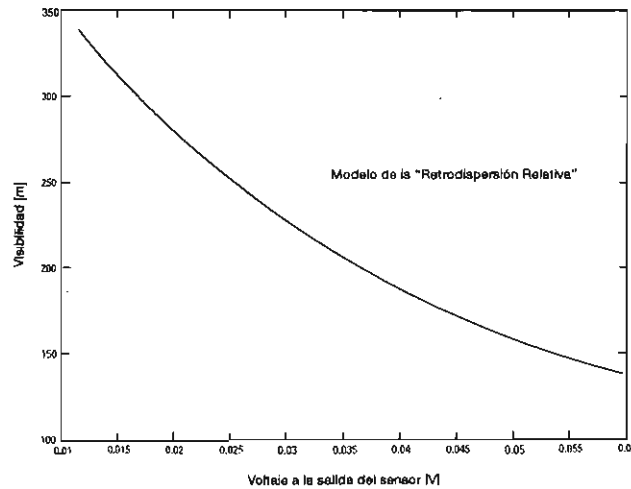


Fig. 6-1. Gráfica de la visibilidad en función de la salida del sensor para el modelo de la "retrodispersión relativa" y utilizando un LED IR como emisor.

⁴ Valor obtenido con un medidor de potencia Mod. NOVA, P/N 1Z01500, Mca. OPHIR y utilizando una sonda PD300-1W, P/N 1Z02411A del mismo fabricante.

7. SEGUNDA DISCUSIÓN

Mejoras a la solución material. Las mejoras a la solución material del visibilímetro sirven únicamente para adaptarse al uso del nuevo emisor (LED IR SFH4503 de la casa OMRON) y aumentar la protección al mesurando. Las funciones principales de la solución material se conservan.

Linealidad de las transformaciones del instrumento.

a) *Función $v_{PICO} = f(I_{ra})$.* El uso de un LED IR no ha modificado la transformación realizada por el circuito tanque. El ajuste por mínimos cuadrados de los datos de entrada I_{ra} y de los datos de salida v_{PICO} , posee un factor de determinación $R^2 = 0.995$ y, por lo tanto, se puede considerar una transformación lineal. El error intrínseco (ordenada al origen = 0.0435, Fig. 5-1) puede considerarse despreciable, pero, de cualquier forma, se ha eliminado en el ajuste del escalador (Secc. 4).

b) *Función $v_{PICO} = f(E_{123})$.* Puesto que la característica de transferencia del diodo PIN es lineal y la función $v_{PICO} = f(I_{ra})$ también ha demostrado ser lineal, se esperaba que la función $v_{PICO} = f(E_{123})$, la cual caracteriza el principio de transformación del sensor, fuese lineal (Fig. 5-2). Esta característica tiene el mismo error intrínseco que la anterior pero, para nuestro pesar, ha perdido sensibilidad frente al primer prototipo realizado con un LED láser porque ahora se tiene que:

$$\frac{dv_{PICO}}{dE_{123}} = 0.256 \left[\frac{V}{W/m^2} \right] < 1.0$$

Esto podría explicar la pérdida de casi un 30% en la variación del rango dinámico, en comparación con la estimación de la visibilidad con el primer prototipo. Un aumento de la sensibilidad del instrumento se puede lograr de las siguientes maneras:

- Aumentando la ganancia del amplificador de señal, lo que implicaría reducir lo más posible cualquier interferencia que aumente el voltaje de desequilibrio a la salida del circuito tanque.
- Aumentando la potencia de emisión del LED IR.

Estimación teórica de la visibilidad. Utilizamos nuevamente el modelo de Barteneva para la estimación teórica de la visibilidad [1]. Como ya se había mencionado, se observa una pérdida de casi 30% del rango dinámico del sensor (Fig. 5-3). Han de tenerse en cuenta, en este caso, todas las observaciones hechas para esta "estimación", sobre todo la referente a la necesidad de un contraste contra un instrumento patrón y la realización de un proceso de calibración del instrumento.

8. CONCLUSIONES

El trabajo realizado en este segundo prototipo ha conducido a las siguientes mejoras:

a) Una reducción del costo anterior gracias al empleo de una fuente de luz IR más económica. (Ver Apéndice B para el balance de costos). El costo de fabricación estimado ahora es de poco más de 50€.

b) Una reducción de las dimensiones de los circuitos impresos gracias a la substitución de algunos componentes de montaje superficial.

c) Optimización de las funciones de algunos circuitos:

- fuente de corriente independiente de la unión B-E de un BJT
- amplificador de precisión especialmente orientado a aplicaciones con fotodiodos
- aumento de la rapidez de respuesta del detector de pico
- simplificación del circuito escalador.

La característica de transferencia del visibilímetro se obtuvo en el laboratorio mediante el uso de una máquina generadora de niebla que ofrece condiciones de prueba más cercanas a la experiencia real. Se confirmó nuevamente la linealidad de la característica del sensor.

En contra, se tiene una pérdida de la sensibilidad en la característica del sensor, posiblemente debida al manejo de un flujo lumínico menor (145.2 W/m^2 contra 330 W/m^2).

El trabajo futuro que permitiría el desarrollo de un prototipo comercialmente competitivo es el mismo que el que se indicó en [1] para el primer prototipo. En el Apéndice C se encuentra una tabla-resumen de las características principales de los prototipos hasta ahora desarrollados.

REFERENCIAS

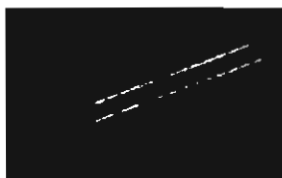
- [1] Antonio Mocholí Salcedo, Raymundo Barrales Guadarrama José, Humberto Arroyo Núñez, *Sensor de Niebla para el Entorno del Automóvil*, Memoria de Diseño del Primer Prototipo, Grupo de Sistemas de Control de Tráfico, ITACA, Universidad Politécnica de Valencia, Diciembre 2007.
- [2] J. V. Winstanley, M. J. Adams, *Point Visibility Meter: A Forward Scatter Instrument for the Measurement of Aerosol Extinction Coefficient*, *Applied Optics*, Vol. 14, No. 9, September 1975.
- [3] Robert A. Maffione, David R. Dana, *Instruments and Methods for Measuring the Backward-Scattering Coefficient of Ocean Waters*, *Applied Optics*, Vol. 36, No. 24, 20 August 1997.
- [4] <http://www.aadi.no/Aanderaa/Document%20Library/1/Data%20Sheets/Mira%20Visibility%20Sensor.pdf>
- [5] http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD8675.pdf
- [6] <http://www.linear.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C1,C1154,C1009,C1022,P1326,D2154>
- [7] http://chemistry.about.com/od/howthingswork/a/smokemachines_3.htm
- [8] <http://www.velleman.be/nl/es/product/view/?id=354864#>

ANEXO A

HOJA DE DATOS LED IR.

Leistungsstarke IR-Lumineszenzdiode
High Power Infrared Emitter
Lead (Pb) Free Product - RoHS Compliant

SFH 4501, SFH 4502, SFH 4503



SFH 4501



SFH 4502



SFH 4503

Wesentliche Merkmale

- Leistungsstarke GaAs-LED (40mW)
- Hoher Wirkungsgrad bei kleinen Strömen
- Typische Peakwellenlänge 950nm
- SFH 4501 -03: Unterschiedliche Halbwinkel

Anwendungen

- IR-Fernsteuerung von Fernseh- und Rundfunkgeräten, Videorecordern, Lichtdimmern
- Gerätefernsteuerungen für Gleich- und Wechsellichtbetrieb
- Sensorik
- Diskrete Lichtschranken
- IR-Scheinwerfer für Kameras

Features

- High Power GaAs-LED (40mW)
- High Efficiency at low currents
- Typical peak wavelength 950nm
- SFH 4501 - 03: different half angles

Applications

- IR remote control of hi-fi and TV-sets, video tape recorders, dimmers
- Remote control for steady and varying intensity
- Sensor technology
- Discrete Interrupters
- IR spotlight for cameras

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code	Strahlstärkegruppierung ¹⁾ ($I_F = 100\text{mA}$, $t_p = 20\text{ ms}$) Radiant intensity grouping ¹⁾ I_e (mW/sr)
SFH 4501	Q62702P5061	110 (>63)
SFH 4502	Q62702P5062	60 (>25)
SFH 4503	Q62702P5305	250 (>63)

¹⁾ gemessen bei einem Raumwinkel $\Omega = 0.01\text{ sr}$ (SFH4503 $\Omega = 0.001\text{ sr}$)

measured at a solid angle of $\Omega = 0.01\text{ sr}$ (SFH4503 $\Omega = 0.001\text{ sr}$)

ANEXO B

PRESUPUESTO DE COMPONENTES PARA FABRICACIÓN

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. U ^s . (€)	SUBTOTAL (€)
Resistencias			
14	Resistencias de película metálica. ¼ W, 1%	0,032	0,448
Condensadores			
1	470 pF/cerámico	0,133	0,133
7	0.1 µF/cerámico	0,224	1,568
1	0.0022 µF/cerámico	0,023	0,023
5	1 µF/16V/electrolítico/radial	0,081	0,405
2	10 µF/16V/electrolítico/radial	0,082	0,164
2	22 pF/cerámico	0,045	0,09
1	150 pF/cerámico	0,133	0,133
2	47 µF/16V/electrolítico/radial	0,081	0,162
Bobinas			
1	33 mH	0,75	0,75
Potenciómetros/Multivuelta/Ajuste Vertical			
2	100 kΩ/3299W	1,99	3,98
1	50 Ω/3299W	1,99	1,99
Semiconductores Discretos			
1	SB120A diodo Shottky	0,312	0,312
1	BS170 MOSFET	0,26	0,26
2	LED redondo/5mm/opaco	0,27	0,54
1	SFH4503 LED IR 950 nm	0,62	0,62
1	TEMD5000 fotodiodo PIN	1,63	1,63
1	LM385-2.5 referencia de voltaje	0,78	0,78
Amplificadores Operacionales			
1	MC33172N	0,67	0,67
1	AD8675ARZ	2,87	2,87
3	OP27GPZ	3,67	11,01
1	LT1190	5,21	5,21
Dispositivos Digitales			
1	CD4093 Schmitt NAND	0,35	0,35
Dispositivos Semiconductores Vanos			
1	AT90S2313 microcontrolador AVR	2,04	2,04
1	ADC0804 ADC	4,47	4,47
1	NE555 timer	0,32	0,32
1	MAX232 transceptor	2,22	2,22
Miscelánea			
1	Cristal 4 MHz	1,16	1,16
1	Push-Button	0,84	0,84
1	Conector DB9M/90P/soldar	1,38	1,38
4	Jumper	0,26	1,04
4	Conector señal	0,389	1,556
2	Clema 3 contactos	0,46	0,92
1	Clema 2 contactos	0,28	0,28
TOTAL (€)			50,304

5 Precios de la casa FARNELL.

ANEXO C

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS PROTOTIPOS DESARROLLADOS

VISIBILÍMETROS DESARROLLADOS			
CARACTERÍSTICA	PRIMER PROTOTIPO FUENTE LED LASER	SEGUNDO PROTOTIPO FUENTE LED IR	UNIDADES
Longitud de onda	808	950	nm
Flujo luminoso emitido	330	145.20	W/m ²
Rango de salida del sensor	0.572 a 3.40	0.018 a 0.060	V
Rango de la irradiancia recibida	0.046 a 0.963	0.216 a 0.404	W/m ²
Resolución estimada $\Delta E_{123}/\text{bit}$	NO APLICA ⁶	248.06	mW/cm ² /bit
Sensibilidad del instrumento $\frac{dv}{dE}$	3.0	0.256	$\left[\frac{V}{W/m^2} \right]$
Visibilidad teórica estimada (modelo de Barteneva)	100 a 1200	100 a 340	m
Costo	122.56	50.30	€

2893350

⁶ Esta prueba se hizo con pantallas de papel de tonos de gris y no representan una condición de operación realista.

REPORTE DE INVESTIGACIÓN

SEGUNDO PROTOTIPO DE UN VISIBILÍMETRO PARA EL ENTORNO DEL AUTOMÓVIL

Se terminó de imprimir en el mes de marzo de 2011 en los talleres de la Sección de Impresión y Reproducción de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, con domicilio en Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Del. Azcapotzalco, C.P. 02200, México D.F.

La edición estuvo a cargo de la Oficina de Producción Editorial y Difusión de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería con un tiraje de 40 ejemplares.

El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha
señalada en el sello mas reciente

Código de barras. 2893350

FECHA DE DEVOLUCION

[illegible]

- Ordenar las fechas de vencimiento de manera vertical.
- Cancelar con el sello de "DEVUELTO" la fecha de vencimiento a la entrega del libro



2893350

UAM
TK7878.4
S4.35

2893350
Segundo prototipo de un v

Departamento de Electrónica
División de Ciencias Básicas Ingeniería
Unidad Azcapotzalco